

# DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE *TAXUS GLOBOSA* (TAXACEAE) EN MÉXICO

Mario A. García-Aranda, César Cantú-Ayala, Eduardo Estrada-Castillón,  
Marisela Pando-Moreno y Antonio Moreno-Talamantes

Facultad de Ciencias Forestales  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Km 145 Carr. Nacional, Apartado Postal 41  
C.P. 67700, Linares, N. L., MÉXICO  
e-mail: mgarcia\_20@yahoo.com.mx

## RESUMEN

Con el objetivo de conocer la distribución potencial de *Taxus globosa* Schlecht., especie de conífera con distribución restringida y listada bajo estatus de conservación en la NOM-059-SEMARNAT-2010 se utilizó el método de modelación de distribución de máxima entropía o MaxEnt con base en 40 registros obtenidos en campo y 39 registros del REMIB-CONABIO. Se probaron estadísticamente dos escenarios con cubiertas geográficas ambientales, climáticas y topográficas. El escenario BIOCLIM con Topografía resultó el modelo con mayor precisión en el intervalo de probabilidad de 0.9 a 1.0 con un 55% de coincidencia siendo estadísticamente significativo (AUC= 0.985). La pendiente resultó la de mayor influencia en el modelado del hábitat potencial, seguida por Bio14 precipitación del mes más seco. De acuerdo con el análisis MaxEnt, las 19 variables BIOCLIM y las tres topográficas, las principales comunidades vegetales donde potencialmente se podría distribuir *Taxus globosa* en México son bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque mesófilo de montaña. Los estados donde potencialmente se puede distribuir *Taxus globosa* en México son: Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Tamaulipas y Veracruz.

PALABRAS CLAVE: *Taxus globosa*, Modelación, Hábitat, MaxEnt

## ABSTRACT

To better understand the potential distribution of *Taxus globosa* Schlecht., we used a conifer species with restricted distribution, listed on the NOM-059-SEMARNAT-2010, a modeling distribution procedure of maximum entropy or MaxEnt, based on 40 occurrences of field records and 39 REMIB-CONABIO records. Two different scenarios of geographical and environmental coverages—climatic and topographic—were proved statistically. The BIOCLIM variables scenario with topography data show a more accurate model in the range of 0.9 to 1.0 probability with a 55% coincidence; it was statistically significant at (AUC=0.985). Slope variable indicates an environmental variable with more influence in potential modeling, followed by Bio14 (Precipitation of Driest Month). In agreement with the MaxEnt analysis with 19 BIOCLIM and 3 topographic variables, the main plant communities in the modeling area (where *Taxus globosa* is distributed in Mexico) are pine-oak forest, oak-pine forest, pine forest, and cloud mesic forest. *Taxus globosa* is potentially distributed in Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Tamaulipas, and Veracruz.

KEY WORDS: *Taxus globosa*, Modelling, Habitat, MaxEnt

La predicción de la distribución potencial de especies raras o en riesgo de extinción es relevante para llevar a cabo un seguimiento y conservación, ya que proporciona un punto de partida en prácticas de recuperación de sus condiciones ambientales o del establecimiento de áreas de repoblación artificial (Leal 2009). *Taxus globosa* es una conífera incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de sujeta a protección especial (SEMARNAT 2010). La información de registros de especies raras como *Taxus globosa*, en bases de datos o publicaciones, es escasa, aún lo es más sobre las áreas de distribución local o regional (Zamudio 1992; García y Castillo 2000; Contreras y Luna 2001; Zavala 2002; Zavala et al. 2001; Bonilla y Canchola 2008). Existen diversos métodos para el modelado de las áreas de distribución potencial (Phillips et al. 2006; Ward 2007; Phillips y Dudík 2008; Hernández et al. 2008; García 2008), algunos de los cuales se han aplicado en estudios en plantas en categoría de riesgo de extinción o de distribución restringida (Engler et al. 2004), además de un estudio previo sobre el modelado del nicho de *Taxus globosa* con análisis de los efectos del cambio en uso de la tierra y su conservación en México (Contreras et al. 2010).

El propósito del estudio fue modelar el área de distribución potencial de *Taxus globosa* y conocer la influencia de variables bioclimáticas y topográficas en la precisión del modelado a través de una comparación,



con énfasis en las poblaciones del noreste de México con el objetivo de aportar información para planes de conservación, rehabilitación o implante de tal especie.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

Se visitaron 40 sitios donde crece *Taxus globosa* en recorridos de campo en nueve localidades en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, en el noreste de México, en estos sitios se tomaron las coordenadas geográficas, las cuales fueron incorporadas a una base de datos.

En estos sitios se colectaron ejemplares botánicos Estrada et al, con números de colecta 11804, 15993, 16129, 16299, 16373, 16383, 16507, 16545, 16820, 16828, 19155, 19436, 2000 los cuales fueron depositados en el herbario CFNL. Una serie de 39 registros (coordenadas geográficas) de *Taxus globosa* se obtuvieron de la consulta a la base de datos de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad REMIB, CONABIO, [http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib\\_esp.html](http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html). Los 40 registros de campo se sumaron a los 39 registros de REMIB integrando una base de 79 registros totales utilizados en la modelación de la distribución potencial. Posteriormente del uso de esta base de datos, se utilizaron 42 registros de colecta adicionales obtenidos de visitas de campo posteriores con el propósito de realizar pruebas de validación de los modelos por porcentaje de coincidencias.

Del sitio web de WorldClim (Hijmans et al. 2005; <http://www.worldclim.org/bioclim>) se obtuvieron cubiertas geográficas de variables ambientales de 1960–1990 en formato raster de un km<sup>2</sup> de resolución. La base de datos BIOCLIM utilizada en el modelado de distribución consta de 19 cubiertas (Cuadro 1), la cual fue combinada en una segunda modelación con un grupo de tres variables topográficas altitud, exposición y pendiente (Cuadro 1) que fueron calculadas a partir de la cubierta 'altitude' de WorldClim (Hijmans et al. 2005; <http://www.worldclim.org/bioclim>), todas estas fueron recortadas en ArcGIS versión 9.2 a los límites de 118°20'3.42" a 86°25'3.42" Oeste y 34° 01'0.08" a 12° 55'30.76" Norte, correspondiente al territorio de México; las capas se transformaron en ArcGIS versión 9.2 a formato ASCII Grid.

Se utilizó el modelado Maximum Entropy Distribution o MaxEnt, el cual es el mejor método (Kumar y Stohlgren 2009), es de los que procesan bases de datos con pocos registros (Hernández et al. 2006; Pearson et al. 2007). Es un método basado en un protocolo que estima la probabilidad de ocurrencia de las especies basado en requerimientos ambientales que genera una estimación de probabilidad de presencia de la especie con valores de 0 y 1, donde 0 se considera como la mínima y 1 para la máxima probabilidad (Phillips et al. 2006), para realizar el análisis solo se requiere de datos de presencia de la especie (no ausencia) y cubiertas geográficas de variables ambientales de las áreas de análisis (continuas o categóricas). El software MaxEnt versión 3.3.2 es de uso libre y está disponible en <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>.

La base de datos compilada de 79 registros de *Taxus globosa* y los cuatro grupos de variables ambientales fueron utilizadas para la modelación de un escenario climático actual (periodo de 1950 a 2000). El programa generó imágenes logísticas acumulativas y analizó a un máximo de 500 aproximaciones sucesivas (iteraciones).

Los dos modelos generados se sometieron a las pruebas curva de respuesta (análisis de omisión/comisión y sensibilidad ROC AUC=Area Under Curve) y una prueba Jackknife para medir el efecto de cada variable utilizada en la generación de los modelos. Para realizar esto se dividió la base de datos de 79 registros en un subgrupo de 40 registros para el modelado de hábitat potencial y otro de 39 para pruebas estadísticas de validación.

Con una base de 42 registros adicionales de *Taxus globosa*, a través del módulo Point Analyst 1.0 para Arcview, se registró el valor de los dos modelos de distribución potencial generados en formato raster los cuales presentan valores de probabilidad de hábitat de 0.1 a 1.0, de manera que solo se contabilizaron los registros con valores entre 0.8 y 1.0 para expresarlos en porcentaje de ocurrencias >80 % de probabilidad de tener un hábitat potencial para *Taxus globosa*.

Se realizó un análisis de distribución de la superficie actual y potencial (entre los píxeles de 0.8 a 1.0 probabilidad) generado en el mejor modelo de acuerdo al uso actual de la tierra y vegetación (INEGI 2005). Asimismo, se determinó su área de distribución actual y potencial en México.



Cuadro 1. Listado de las variables ambientales BIOCLIM<sup>2</sup> y topográficas usadas en el modelado MaxEnt y su porcentaje de contribución en los modelos de distribución generados para *Taxus globosa* en México.

Variable ambiental	BIOCLIM	BIOCLIM+Topo
BIO_01 = Temperatura media anual	2.9	3.8
BIO_02 = Intervalo medio diario (Media por mes [Temp.Max-Temp.Min])	0.3	0.2
BIO_03 = Isotermalidad (P2/P7) (* 100)	19.2	0.0
BIO_04 = Temporalidad de la temperatura (desviación estándar *100)	4.1	1.1
BIO_05 = Temperatura máxima del mes mas cálido	39.4	2.5
BIO_06 = Temperatura mínima del mes más frío	10.3	7.5
BIO_07 = Intervalo de temperatura anual (P5-P6)	2.9	0.9
BIO_08 = Temperatura media del ¼ anual mas húmedo	1.5	0.1
BIO_09 = Temperatura media del ¼ anual mas seco	0.0	1.4
BIO_10 = Temperatura media del ¼ más cálido	0.0	0.2
BIO_11 = Temperatura media del ¼ más frío	0.1	0.2
BIO_12 = Precipitación anual	0.0	1.1
BIO_13 = Precipitación del mes mas húmedo	0.0	1.1
BIO_14 = Precipitación del mes más seco	15.3	25.5
BIO_15 = Temporalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)	0.5	0.0
BIO_16 = Precipitación del ¼ anual más húmedo	1.6	0.1
BIO_17 = Precipitación del ¼ anual mas seco	0.4	0.0
BIO_18 = Precipitación del ¼ anual mas cálido	0.1	0.0
BIO_19 = Precipitación del ¼ anual más frío	0.0	0.2
TOPO_01 = Elevación	n/a	14.0
TOPO_02 = Exposición	n/a	0.4
TOPO_03 = Pendiente	n/a	39.8

<sup>2</sup>Tomado de: WorldClim (Hijmans et al. 2005).

Cuadro 2. Síntesis de resultados en las pruebas de validación internas MaxEnt.

Modelo BioClim	Modelo BioClim + Topografía	
Aumento Regularizado de puntos de entrenamiento	4.094	4.090
Área bajo la curva (AUC) de puntos de entrenamiento	0.998	0.998
Aumento No Regularizado de puntos de entrenamiento	4.536	4.558
Aumento de Prueba no Regularizada	5.082	5.365
Prueba de prueba de Área bajo la curva (AUC)	0.998	0.999
Desviación estándar <sup>1</sup>	0.001	0.000
Algoritmo terminado despues de	500 iterations	500 iterations

<sup>1</sup>Estimada con base en la ecuación dos (DeLong & Clarke-Pearson 1988).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo de distribución potencial para *Taxus globosa* en México se muestra en la Figura 1 el cual considera solo las 19 cubiertas geográficas BIOCLIM sin la de topografía. Este mapa tiene un alto nivel de predicción. El valor del área bajo la curva ROC (AUC = 0.987) (Cuadro 2). En contraste el mapa del modelo de hábitat potencial para *T. globosa* considerando las 19 cubiertas geográficas BIOCLIM y las tres cubiertas geográficas de topografía (Fig. 2), generó una tasa de éxito mayor en su predicción con un valor de área bajo la curva ROC (AUC = 0.985) (Cuadro 2), estos valores son menores al obtenido por el modelo (AUC = 0.997) generado por Contreras et al. (2010).

De acuerdo a los análisis de validación de MaxEnt (Cuadro 2), los dos modelos generados tuvieron altos valores de precisión, no obstante que las variables que generan sus respectivos modelos son distintos.

Las variables que tuvieron mayor ponderación en la generación de los modelos, fueron: para el modelo BIOCLIM: temperatura máxima del mes más cálido (Bio05) 39.4%, isotermalidad [P2/P7] [\*100] (Bio03) 19.2%, precipitación del mes más seco (Bio14) 15.3% y temperatura mínima del mes más frío (Bio06) 10.3%;



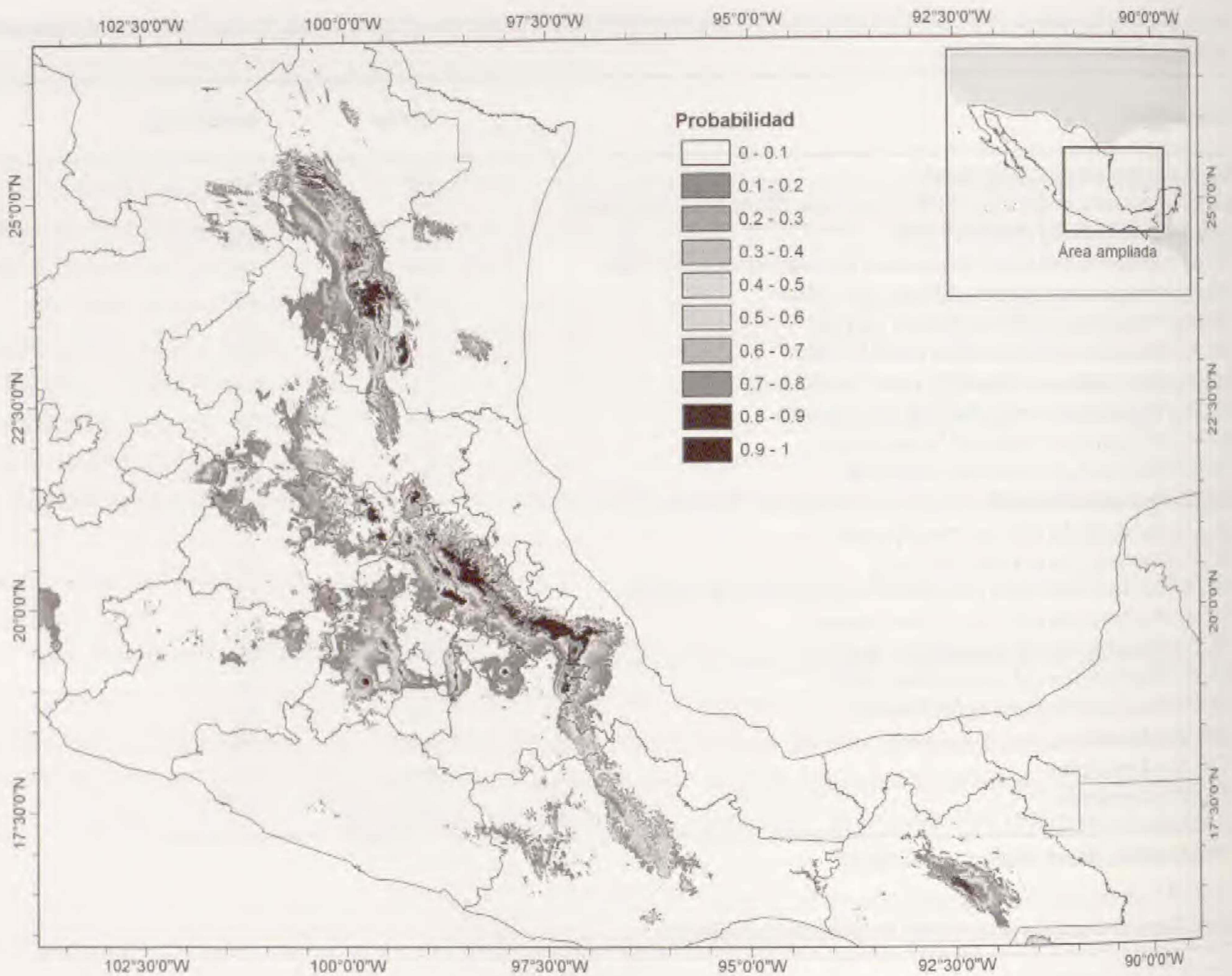


FIG. 1. Modelado de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México, con base en variables BIOCLIM. Las áreas en tono más oscuro entre 0.8 y 1.0 son las de mayor probabilidad.

para el modelo BIOCLIM con topografía: Pendiente (Topo03) 39.8%, precipitación del mes más seco (Bio14) 25.5%, elevación (Topo01) 14.0% y temperatura mínima del mes más frío (Bio06) 7.5%, muestra que la pendiente del terreno tiene relevancia en uno de los dos modelados, seguida de la precipitación en el mes más seco y elevación. Esto significa que el segundo modelo produjo áreas más específicas que discriminan zonas por topografía (Fig. 3, Cuadro 1).

Los patrones de distribución biogeográfica están cambiando en respuesta a recientes alteraciones del clima, como lo establece un índice que mide la velocidad de cambio de la temperatura (km año) y la velocidad de cambio varía en los ecosistemas (Loarie et al. 2009). En relación a la influencia de la topografía, dicho índice establece que el efecto topográfico, influye de manera importante en la velocidad de cambio de la temperatura, siendo menor (0.11 km año) en el ecosistema con bosques de coníferas tropicales y subtropicales, donde se distribuyen las comunidades vegetales con presencia de *Taxus globosa*. Además, el tiempo de residencia (tiempo que permanece un ecosistema en una región) de éste es mayor (63.6 años) respecto a otros ecosistemas analizados (Loarie et al. 2009).

La Figura 4 muestra la distribución de los registros usados en el modelado de hábitat potencial con la variable Topo03 (pendiente), donde se observa que los datos se concentran entre los 89.99 y los 90.00 grados de pendiente, lo cual indica que la especie prefiere crecer en los cañones. En la Figura 5 se muestra la distribución de los registros en la variable Bio14 (precipitación del mes más seco), los datos se concentran entre 8.0 y 32 mm de precipitación (mes más seco del año), lo que indica zonas con períodos de sequía. La Figura 6, muestra la distribución de los registros para la variable Topo02 (elevación), en la que se observa una preferencia por eleva-



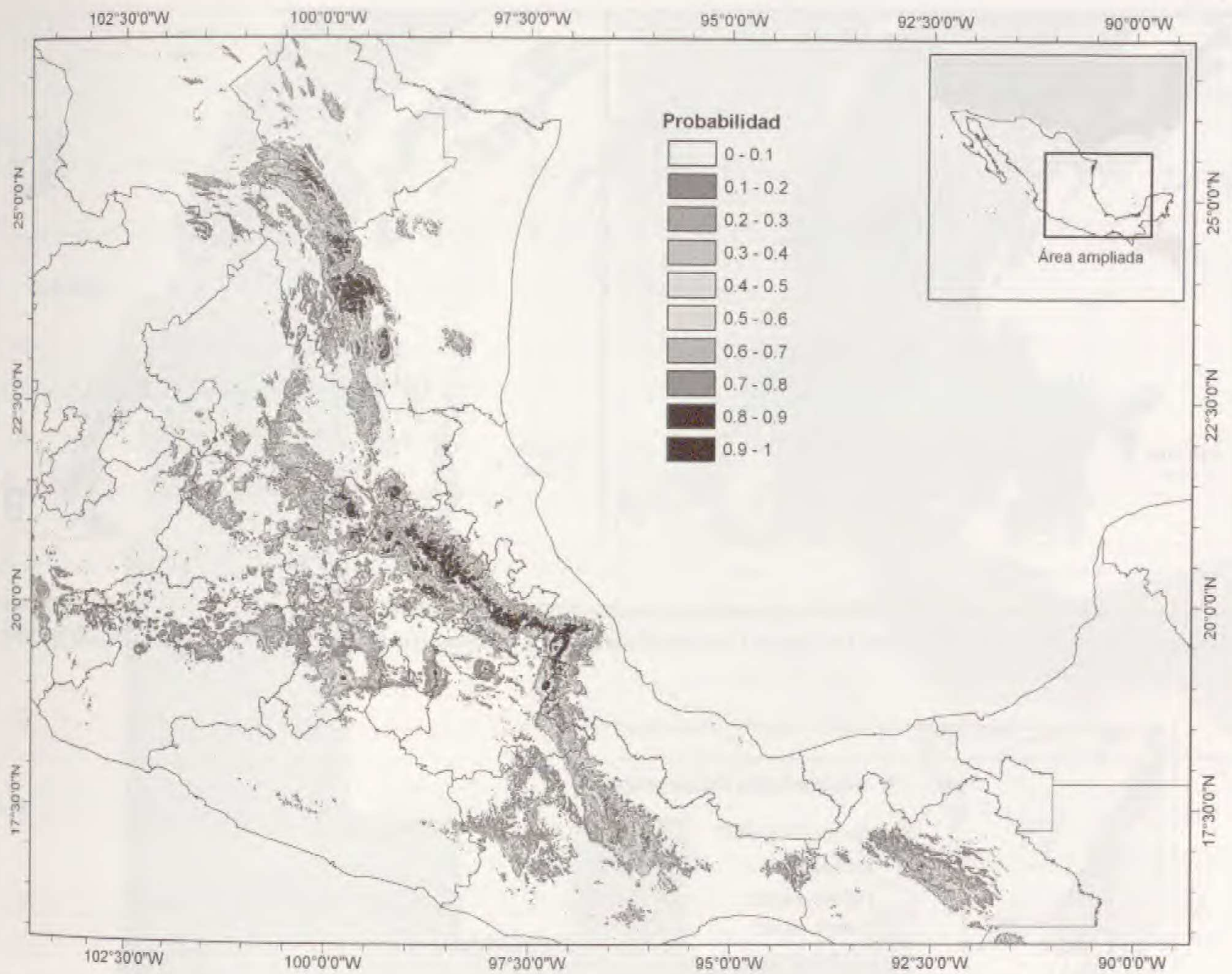


Fig. 2. Modelado de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México, con base en variables BIOCLIM y topográficas. Las áreas en tono más oscuro entre 0.8 y 1.0 son las de mayor probabilidad.

ciones entre 1,200 y 3,000 m, ubicando la condición del hábitat en zonas elevadas. En la Figura 7, se muestra la distribución de los registros en la variable Bio06 (temperatura mínima del mes más frío), los datos se ubican entre 24 y 33°C, lo que denota una preferencia por sitios templados.

En el análisis de distribución por deciles de probabilidad (entre 0.1 y 1.0) de presencia de distribución potencial de *Taxus globosa* en México para los dos modelos, se observó que los últimos dos deciles (0.8–0.9 y 0.9–1.0) representan las áreas donde se advierte mayor probabilidad de encontrar a la especie y coincide con la zona núcleo del área potencial de distribución de la especie (Figs. 1 y 2).

Para el penúltimo decil de probabilidad (0.8–0.9) la superficie calculada para la distribución potencial fue mayor en el modelo BIOCLIM con 9,299.38 km<sup>2</sup> que representa un 0.47% del territorio de México, mientras que en el modelo Biocilm+Topografía generó una superficie de 8,581 km<sup>2</sup> que representan el 0.43% del territorio nacional (Cuadro 3).

Por el contrario, en el decil de mayor probabilidad de distribución (0.9–1.0) el modelo de BIOCLIM presentó una superficie menor con 351 km<sup>2</sup> que representan el 0.02 % del territorio nacional, y el modelo BIOCLIM+Topografía generó una superficie de 1,804 km<sup>2</sup> (0.09% del territorio mexicano). Es probable que la diferencia en tendencia sea resultado del efecto de la pendiente y elevación ya que los registros tomados en campo están ubicados en zonas de elevación mayores a 1,200–3,800 m y con pendiente pronunciada (Fig. 4).

Utilizando un grupo de 42 registros adicionales de *Taxus globosa* se realizó una prueba de validación de los dos modelos generados, contabilizando los registros que coincidieran geográficamente con las zonas de los modelos que marcaron valores de probabilidad entre los deciles 0.8–0.9 y 0.9–1.0, estos se expresaron en valo-



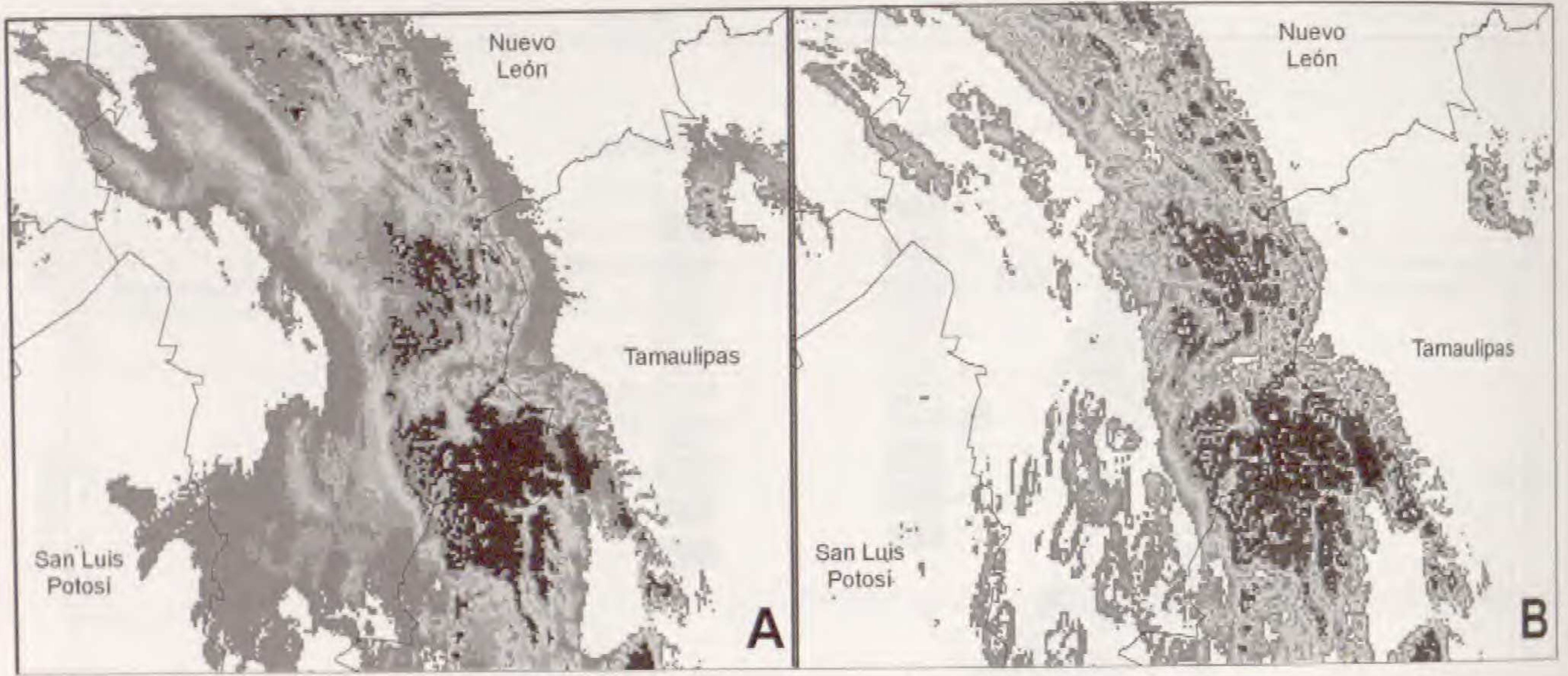


FIG. 3. Diferencial de modelos: A BIOCLIM y B BIOCLIM+Topografía que muestran efecto de distribución diferenciado entre valores de probabilidad de hábitat potencial por las variables usadas en ambos. Las áreas en tono más oscuro entre 0.8 y 1.0 muestran la mayor probabilidad de presencia de la especie.

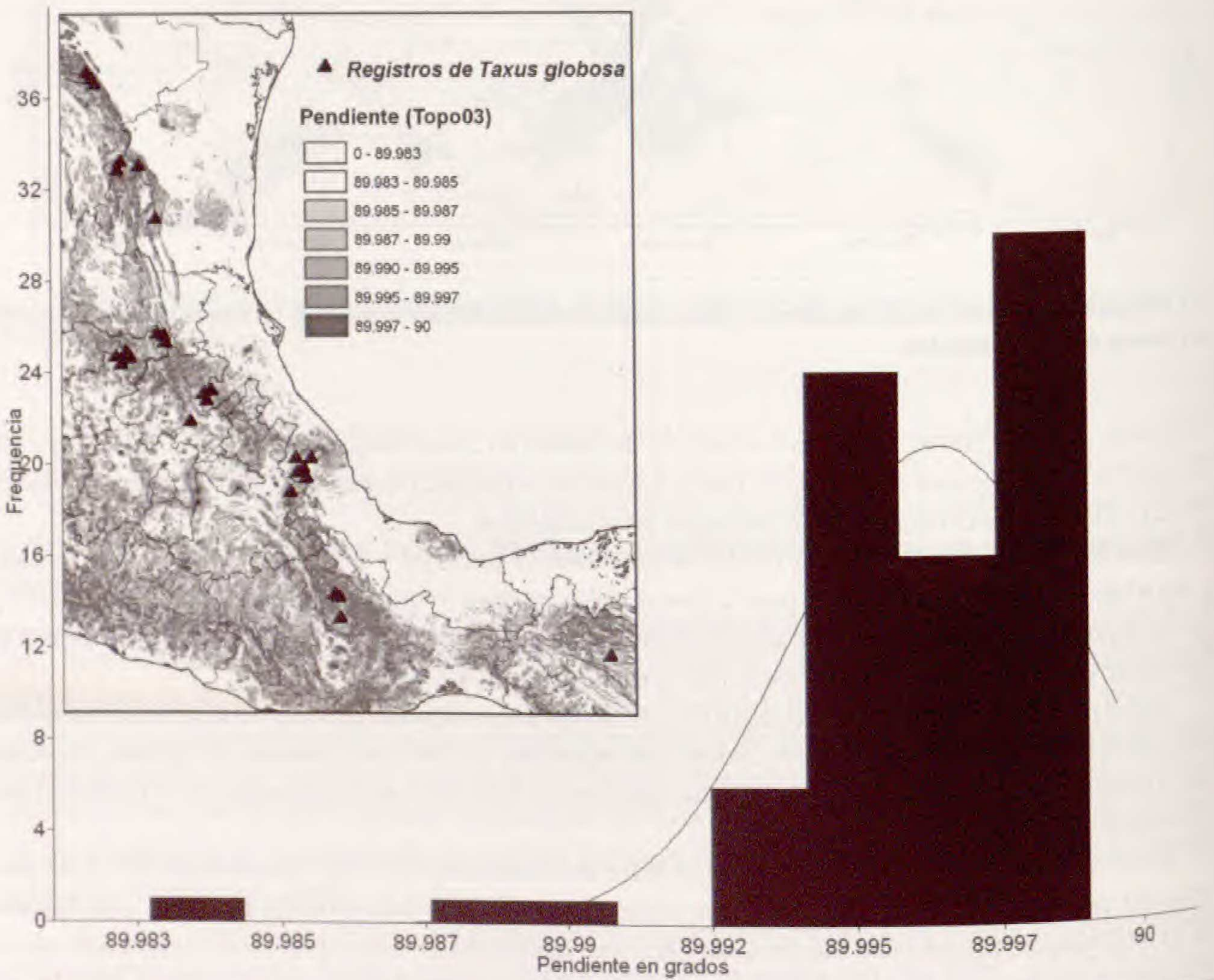


FIG. 4. Mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* en relación con la variable ambiental Topo03 (grados de pendiente).



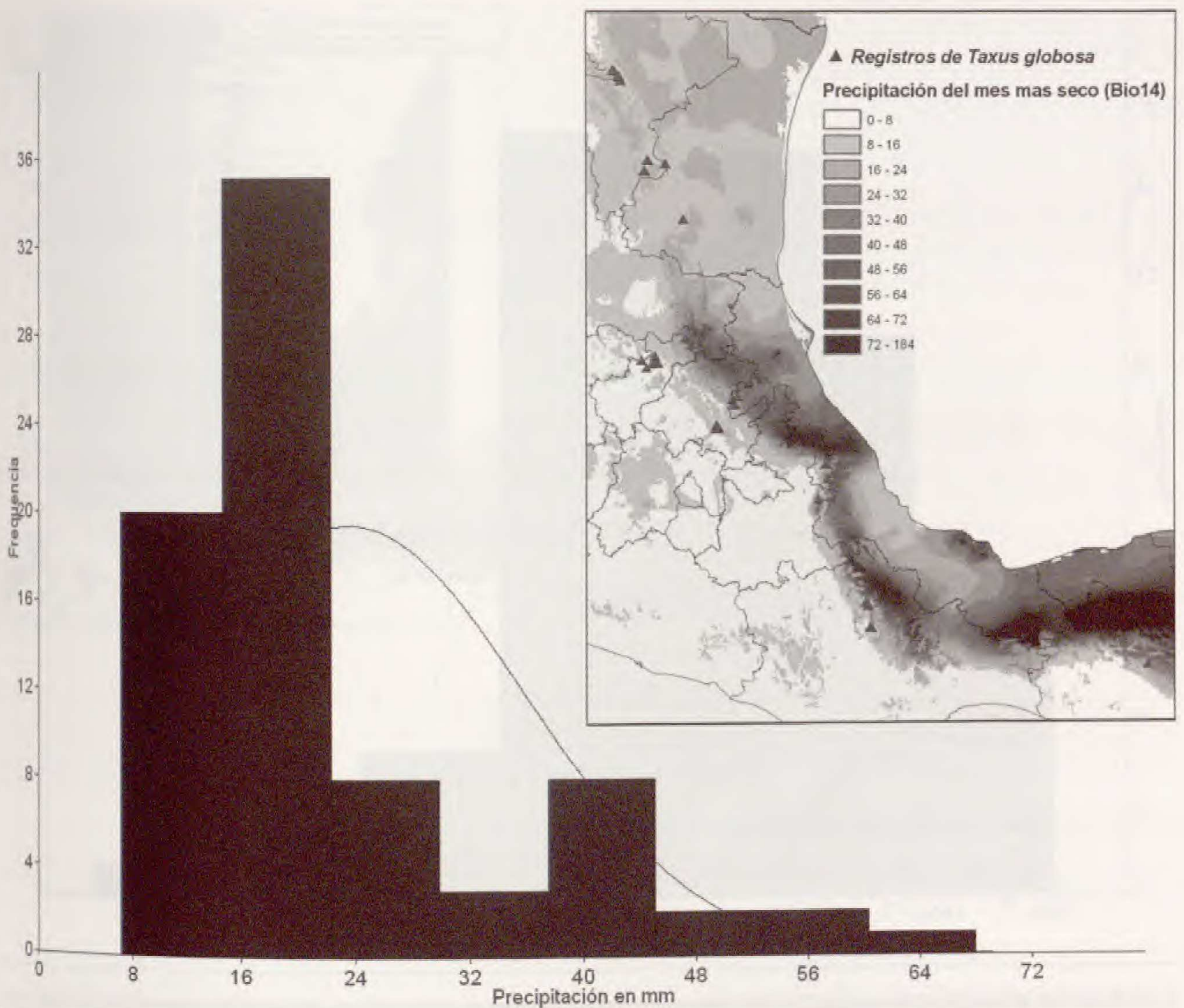


Fig. 5. Mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* en relación con la variable ambiental Bio14 (precipitación promedio del mes más seco).

res porcentuales de coincidencia con los modelos. Para el modelo BIOCLIM se obtuvo una precisión general de 52% (45% en el decil 0.8–0.9 y 2% en el decil 0.9–1.0) mientras que para el modelo BIOCLIM+Topografía se obtuvo una precisión de 55% (36% en el decil 0.8–0.9 y 19% en el decil 0.9–1.0). Considerando el total de valores de probabilidad de los píxeles, el modelo BIOCLIM tiene mayor precisión con 83%, mientras que si consideramos valores del decil de mayor probabilidad de ocurrencia de hábitat potencial para *Taxus globosa*, el modelo BIOCLIM+ Topografía tiene la mayor precisión con 55% (Cuadro 4).

La prueba muestra que el modelo de BIOCLIM+Topografía tiene una mayor eficiencia en el último percentil de mayor probabilidad de ubicar *Taxus globosa* de 0.9–1.0, mientras que el modelo BIOCLIM es más preciso en un percentil de menor probabilidad de ubicación de *Taxus globosa* 0.8–0.9 (Fig. 8), en contraparte Contreras et al. (2010) obtuvieron un 94.5% de eficacia en la predicción para su modelo; esta diferencia se establece ya que no se subdividió el modelo en deciles y fue considerada la totalidad de la superficie del modelo, la eficiencia de los modelos considerando las coincidencias de los registros de la prueba de eficiencia son del 90% para el modelo uno y 81 % para el modelo 2, a partir de una probabilidad del 0.6 al 1.0.

Se realizó un análisis de la superficie del hábitat potencial (0.8–1.0) para *T. globosa*, de acuerdo al uso de la tierra y vegetación (INEGI 2005), al cruzarla información se analizó la distribución de los 10,385 km<sup>2</sup> en relación a los tipos de vegetación y uso actual de la tierra. De este análisis se obtuvo que la comunidad con más superficie del área de distribución potencial es el bosque de pino-encino con 2,230 km<sup>2</sup>, (21.48%), el bosque de encino-pino con 1,638.5 km<sup>2</sup> (15.78%), el bosque de pino con 1,244.75 km<sup>2</sup> (11.99%). Existe un área abierta a la



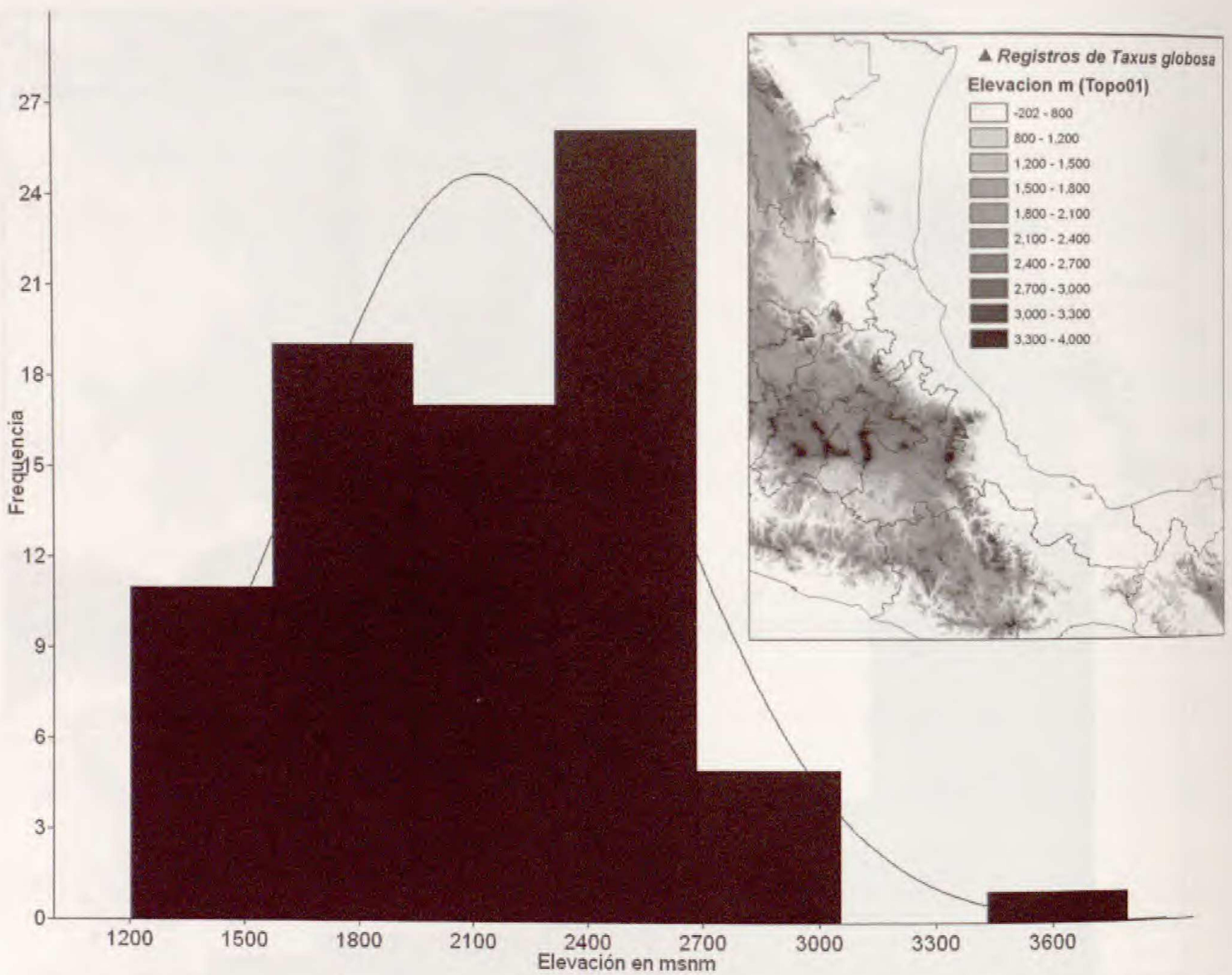


FIG. 6. Mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* en relación con la variable ambiental Topo01 (elevación en msnm).

agricultura de temporal de 1,031.53 km<sup>2</sup> (9.93%), el bosque mesófilo de montaña con 1,027.12 km<sup>2</sup> (9.89%), el bosque de encino con 10,016 km<sup>2</sup> (9.78%), ver Cuadro 5.

En un análisis de distribución posterior de la superficie generada de hábitat potencial (0.8–1.0) para *T. globosa* de acuerdo al modelo BIOCLIM+Topografía, los estados con mayor superficie potencial son: Hidalgo, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Tamaulipas. En el percentil de mayor probabilidad (0.9–1.0) los estados de Veracruz (474.5 km<sup>2</sup>), Puebla (401.3 km<sup>2</sup>), Hidalgo (329.9 km<sup>2</sup>) y Nuevo León (310.1 km<sup>2</sup>) son los que tienen mayor superficie. En el percentil medio (0.8–0.9) los estados de Hidalgo (1,935.95 km<sup>2</sup>), Nuevo León (1,775 km<sup>2</sup>), Veracruz (1,342 km<sup>2</sup>), Puebla (1,258 km<sup>2</sup>) y Tamaulipas (1,173 km<sup>2</sup>) son los que tienen más superficie (Cuadro 6).

#### CONCLUSIONES

Los modelos desarrollados en MaxEnt para obtener distribución potencial para *Taxus globosa* en México, advierten un área muy reducida, con una superficie entre los 9,650 km<sup>2</sup> (BIOCLIM) y los 10,385 km<sup>2</sup> (BIOCLIM+Topografía) que representan entre el 0.49% al 0.52% del territorio nacional.

El modelo BIOCLIM (19 variables climáticas) resulta tener el mejor porcentaje de precisión global en el percentil de probabilidad (0.8–0.9) de presencia de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México.

Para el percentil de mayor probabilidad de presencia de la especie (0.9–1.0), el modelo BIOCLIM+Topografía resultó ser más preciso con el 55% en la prueba de validación. La variable de pendiente es de mayor influencia en el modelado de hábitat potencial, seguida por Bio14 (precipitación del mes más seco).



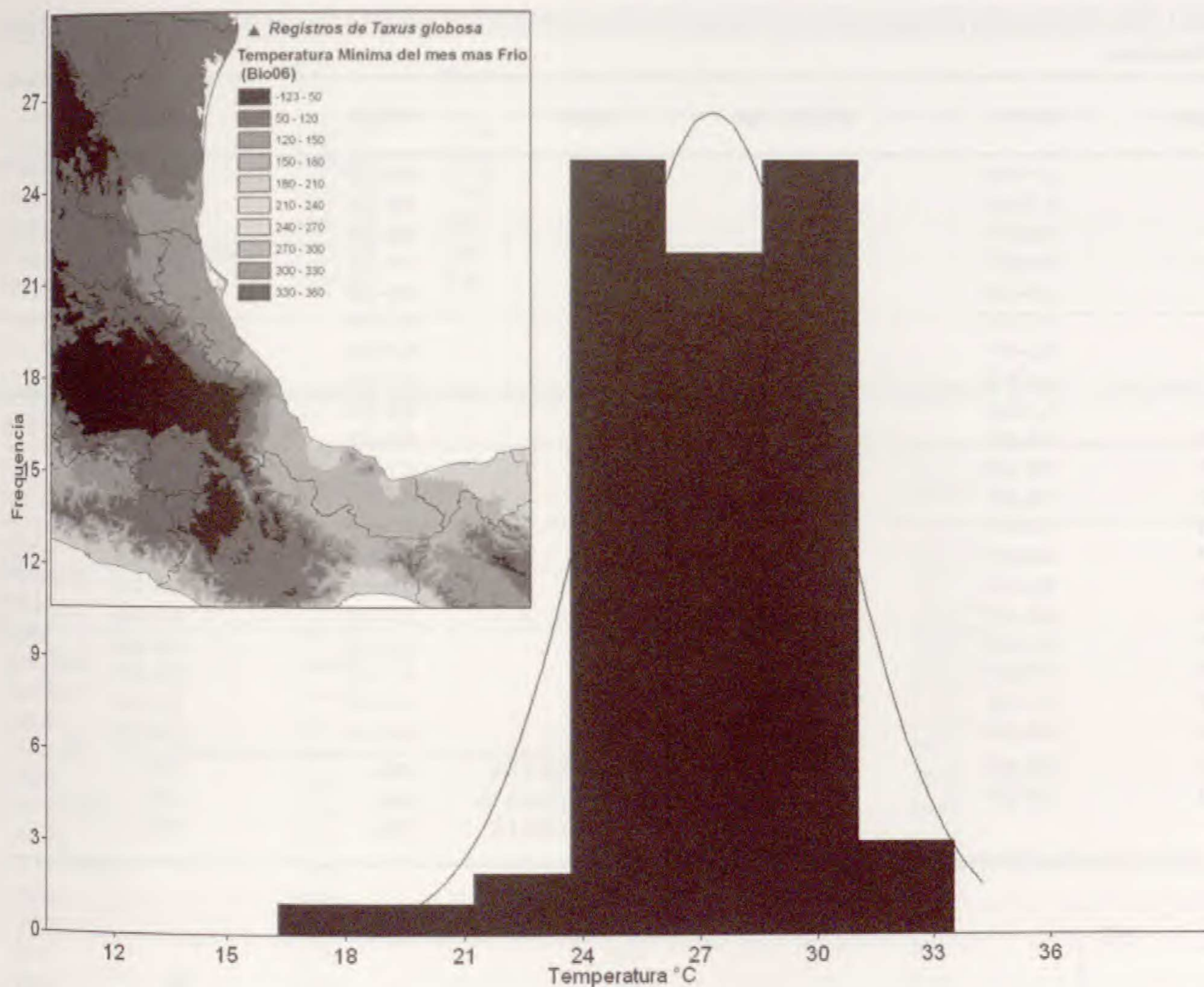


Fig. 7. Mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* en relación con la variable ambiental Bio06 (temperatura mínima del mes más frío).

CUADRO 3. Análisis de superficie y porcentaje por deciles de probabilidad del hábitat potencial de *Taxus globosa* en México para los modelos BIOCLIM y BioClim + Topografía.

BioClim Percentil de probabilidad	BIOCLIM+Topografía			
	km <sup>2</sup>	Porcentaje	km <sup>2</sup>	Porcentaje
0-0.1	1,843,243.20	92.891	1,828,028.46	92.124
0.1-0.2	56,857.47	2.865	62,255.25	3.137
0.2-0.3	23,614.17	1.190	27,856.23	1.404
0.3-0.4	13,427.17	0.677	16,507.72	0.832
0.4-0.5	10,439.67	0.526	11,496.47	0.579
0.5-0.6	8,558.69	0.431	9,701.42	0.489
0.6-0.7	8,093.88	0.408	9,242.83	0.466
0.7-0.8	10,430.58	0.526	8,841.54	0.446
0.8-0.9	9,299.38	0.469	8,580.94	0.432
0.9-1.0	350.91	0.018	1,804.31	0.091

La ubicación del hábitat potencial de *Taxus globosa* en zonas de montaña correspondientes al bosque de coníferas indica que el hábitat presenta una baja tasa de cambio de temperatura por efecto global, así como una amplitud en tiempo de residencia de este hábitat.

Los tipos de vegetación que se ubican en el hábitat potencial de los últimos dos percentiles de probabilidad (0.8-1.0) son bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque mesófilo de montaña,



CUADRO 4. Valores de probabilidad de hábitat potencial (0.1–1.0) para 42 registros de *Taxus globosa* usados en el modelado y los valores de precisión > 70% en cada modelado.

Registro	BIOCLIM	BIOCLIM + Topo	Registro	BIOCLIM	BIOCLIM + Topo
1	0.7–0.8	0.7–0.8	23	0.8–0.9	0.8–0.9
2	0.4–0.5	0.5–0.6	24	0.8–0.9	0.8–0.9
3	0.6–0.7	0.3–0.4	25	0.8–0.9	0.9–1.0
4	0.6–0.7	0.6–0.7	26	0.8–0.9	0.8–0.9
5	0.4–0.5	0.5–0.6	27	0.8–0.9	0.9–1.0
6	0.7–0.8	0.8–0.9	28	0.7–0.8	0.6–0.7
7	0.6–0.7	0.7–0.8	29	0.7–0.8	0.6–0.7
8	0.7–0.8	0.8–0.9	30	0.7–0.8	0.7–0.8
9	0.7–0.8	0.8–0.9	31	0.6–0.7	0.6–0.7
10	0.4–0.5	0.5–0.6	32	0.8–0.9	0.7–0.8
11	0.8–0.9	0.9–1.0	33	0.7–0.8	0.8–0.9
12	0.8–0.9	0.8–0.9	34	0.2–0.3	0.3–0.4
13	0.8–0.9	0.9–1.0	35	0.8–0.9	0.9–1.0
14	0.8–0.9	0.9–1.0	36	0.8–0.9	0.8–0.9
15	0.8–0.9	0.8–0.9	37	0.8–0.9	0.8–0.9
16	0.9–1.0	0.9–1.0	38	0.7–0.8	0.7–0.8
17	0.7–0.8	0.5–0.6	39	0.8–0.9	0.8–0.9
18	0.6–0.7	0.3–0.4	40	0.7–0.8	0.6–0.7
19	0.7–0.8	0.6–0.7	41	0.7–0.8	0.2–0.3
20	0.8–0.9	0.9–1.0	42	0.8–0.9	0.8–0.9
21	0.8–0.9	0.8–0.9	Prob. 0.8 a 0.9	45%	36%
22	0.8–0.9	0.8–0.9	Prob. 0.9 a 0.10	36%	19%
			Prob. 0.8 a 1.0	52%	55%

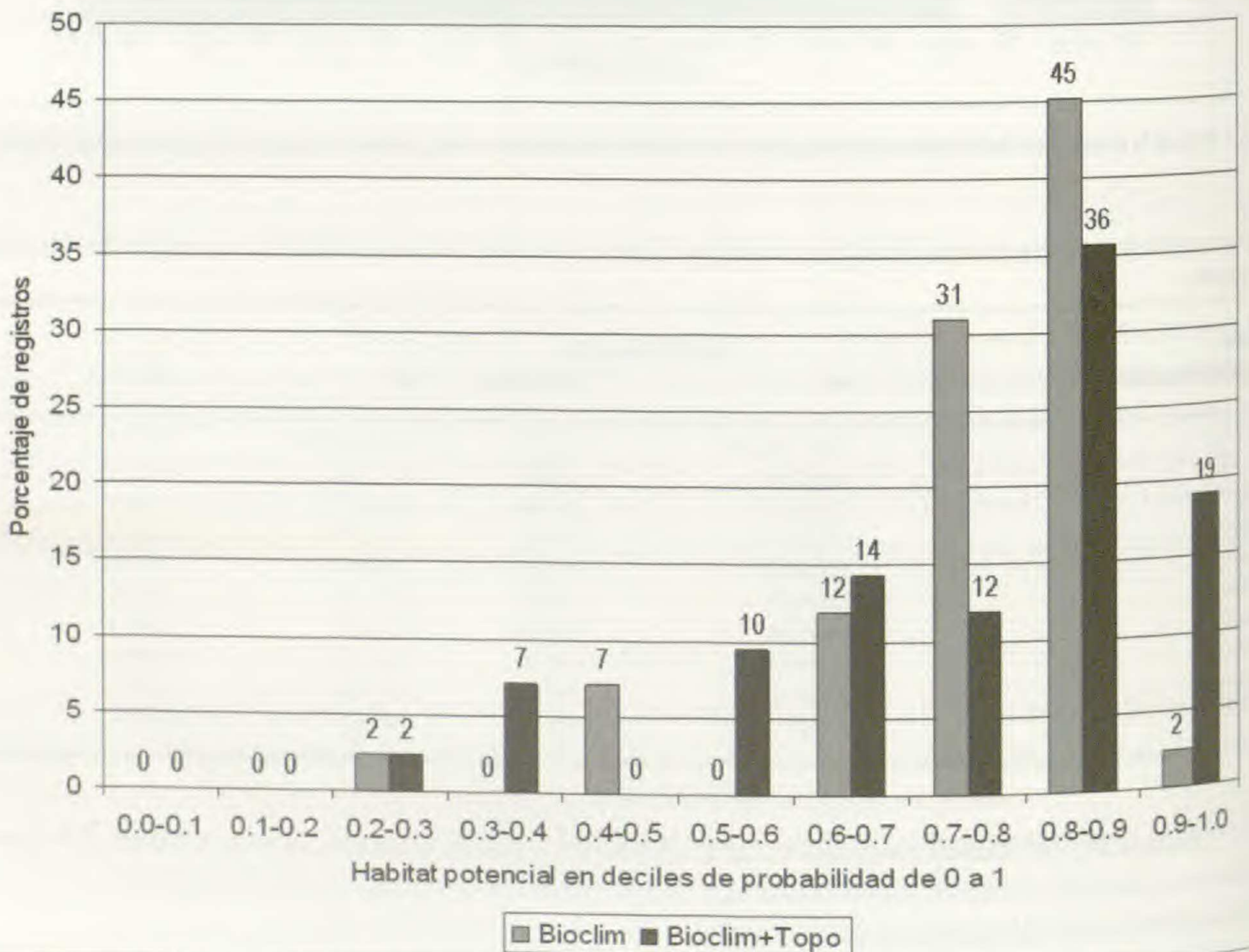


FIG. 8. Porcentaje de registros en hábitat potencial para *Taxus globosa* con los modelos generados en MaxEnt: BIOCLIM y BIOCLIM + Topografía.



CUADRO 5. Distribución de la superficie generada de hábitat potencial para *Taxus globosa* (0.8–1.0) con base en el mapa uso del suelo y vegetación (INEGI, 2005).

Tipo de vegetación	Km <sup>2</sup>	Porcentaje
Bosque de pino-encino	2,230.25	21.48
Bosque de encino-pino	1,638.51	15.78
Bosque de pino	1,244.75	11.99
Agricultura de temporal	1,031.53	9.93
Bosque mesófilo de montaña	1,027.12	9.89
Bosque de encino	1,016.09	9.78

CUADRO 6. Superficies (km<sup>2</sup>) de hábitat potencial para *Taxus globosa* (km<sup>2</sup>) de los principales estados en México en los percentiles 0.8–0.9 y 0.9–1.0 de probabilidad según el modelado BIOCLIM+Topografía.

	Probabilidad 0.9–1.0	Probabilidad 0.8–0.9	Suma km <sup>2</sup>
Hidalgo	329.92	1,935.95	2,265.87
Nuevo León	310.15	1,775.02	2,085.17
Veracruz	474.52	1,341.83	1,816.35
Puebla	401.30	1,257.94	1,659.24
Tamaulipas	109.83	1,173.30	1,283.13
Querétaro	115.20	556.02	671.22
Oaxaca	0.00	229.28	229.28
Guanajuato	10.15	80.37	90.52
Chiapas	0.00	75.66	75.66
San Luis Potosí	8.54	57.35	65.89
Coahuila	0.00	62.60	62.60
Edo. de México	32.69	26.19	58.88
Tlaxcala	4.48	4.20	8.68
Morelos	6.66	0.98	7.64
Jalisco	0.70	2.95	3.65
Colima	0.11	0.29	0.40
	1,804	8,579	10,384

existiendo para el 2005 una área abierta a la agricultura de 1,027 km<sup>2</sup> que representa casi un 10% de este hábitat potencial en México.

De acuerdo al análisis MaxEnt utilizando las 19 cubiertas geográficas BIOCLIM y tres topográficas, los estados de Hidalgo, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Tamaulipas poseen mayor superficie donde se puede distribuir *Taxus globosa* en México.

#### REFERENCIAS

- BONILLA, L.L. Y P.B. CANCHOLA G. 2008. Fitogeografía de *Taxus globosa* en la región centro-oriente de México. Tesis licenciatura, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. México.
- CONTRERAS, M.R. E I. LUNA. 2001. Presencia de *Taxus globosa* Schldt. (Taxaceae) en el estado de Chiapas, México. Polibotánica 12:51–55.
- CONTRERAS, M.R., I. LUNA Y C.A. RÍOS. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. Revista Chilena Hist. Nat. 83:421–433.
- DE LONG, E.R., D.M. DE LONG Y D.L. CLARKE. 1988. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. Biometrics 44:837–845.
- ENGLER, R., A. GUISAN Y L. RECHSTEINER. 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. J. Appl. Ecol. 41:236–274.
- GARCÍA, M.R. 2008. Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal, comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. Ph. D. Tesis. Facultad de ciencias biológicas, Departamento de Biología Vegetal, Universidad Complutense de Madrid. España.



- GARCÍA, S.F. Y P.L. CASTILLO. 2000. Aspectos ecológicos de *Taxus globosa* Schltdl. en las Mesas de San Isidro, Municipio de Rioverde, San Luis Potosí. BIOTAM 11(3):11–18.
- HERNANDEZ, P.A., C.H. GRAHAM, L.L. MASTER Y D.L. ALBERT. 2008. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29:773–785.
- HIJMANS, R.J., S.E. CAMERON, J.L. PARRA, P.G. JONES Y A. JARVIS. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25:1965–1978.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 2005. Mapa uso del suelo y vegetación, México [CD-ROM].
- KUMAR, S. Y T.J. STOHLGREN. 2009. MaxEnt modelling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *J. Ecol. Nat. Environm.* 1(4):094–098.
- LEAL, N.O. 2009. Aspectos y patrones de distribución de *Pinus martinezii* Larsen en la cuenca del lago de Cuitzeo, México: Un modelo de distribución potencial aplicado a la conservación. Tesis Posgrado en Geografía, UNAM. México, D.F.
- LORAIE, R.S., B.D. PHILIP, H. HAMILTON, G.P. ASNER, C.B. FIELD Y D.D. ACKERLY. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462:1052–1057.
- PEARSON, R.G., C.J. NAKAMURA, Y A.T. PETERSON. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.* 34:102–117.
- PHILLIPS, S.J., R.P. ANDERSON Y R.E. SCHAPIRE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190:231–259.
- PHILLIPS, S.J. Y M. DUDIK. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161–175.
- SEMARNAT [SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES]. 2010. Norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 que determina las especies nativas de México de flora y fauna silvestres—categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—lista de especies en riesgo. Diario oficial de la federación, 2ª sección, 30 de Diciembre de 2010.
- WARD, D.F. 2007. Modelling the potencial geographic distribution of invasive ant species in New Zeland. *Biol. Invasions* 9:723–735.
- ZAMUDIO, S. 1992. Familia Taxaceae. En: Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México. Fascículo 9.
- ZAVALA, C.F. 2002. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schltdl. en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. I: Población de adultos y algunas características del hábitat. *Ciencia* 8(2):169–174.
- ZAVALA, C.F., M. SOTO H. Y T. RODRÍGUEZ G. 2001. El romerillo (*Taxus globosa* Schlecht.): biología, dificultades y perspectivas de su uso. *Revista Chapingo, Ser. Hort.* 7:77–94.